

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіотехнічних пристроїв та систем
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.Я. Жук
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код та назва спеціальності)

на тему: Пристрій орієнтації сонячних панелей

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РТ-Г61-1
(шифр групи)

Галацан Олександр Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник старший викладач Антоненко О. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант ох. праці

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет

Радіотехнічний факультет

(повна назва)

Кафедра

Радіотехнічних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.Я. Жук

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Галацану Олександр Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Пристрій орієнтації сонячних панелей

керівник проекту (роботи) Антонець Олександр Миколайович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. №__

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 5 червня 2020р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Параметри сонячних панелей:

Кількість – 2шт; 2. Розмір панелей – 540 x 400 x 30 мм,мм,мм;

3. Маса панелей – 4кг; 4.Вихідна напруга 10...21В; 5.Струм – 1,18 А.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) 1. Розробити структурну схему пристрою.

2.Розрахувати електричну принципову схему керування двигуном.

3.Розробити друковану плату схеми керування.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1. Структурна схема пристрою. 2. Електрична принципова схема керування двигуном. 3. Кресленик друкованої плати схеми керування.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці	Каштанов С.В., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз ТЗ. Огляд аналогів.	21.04.2020р.	Виконано
2	Розробка структурної схеми	28.04.2020р.	Виконано
3	Електричні розрахунки	06.05.2020р.	Виконано
4	Розробка друкованої плати	15.05.2020р.	Виконано
5	Охорона праці	25.05.2020р.	Виконано
6	Графічна частина	03.06.2020р.	Виконано
7	Подання проекту	05.06.2020р.	Виконано

Студент

(підпис)

О.А. Галацан
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

О.М. Антоненць
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

АНОТАЦІЯ

Метою дипломного проекту було проектування пристрою орієнтації для сонячних панелей. Був розроблений пристрій та принципова схема керування. Дипломний проект виконано на 48 сторінках, що включають 27 ілюстрацій, 4 додатка та бібліографічних посилань.

Для досягнення поставленої мети розв'язують такі завдання: написання ТЗ, розробка конструкція друкованої плати, конструкція пристрою орієнтації. Об'єктом роботи є мікроконтролер та серводвигун для пристрою орієнтації сонячних панелей. Предметом роботи є пристрій орієнтації.

Ключові слова: пристрій орієнтації, альтернативна енергетика, Arduino, серводвигун, сонячна електростанція.

ANNOTATION

The aim of the diploma project was to design an orientation device for solar panels. A device and a schematic diagram of the control were developed.

The diploma project is made on 48 pages, which includes 27 illustrations, 4 appendices and bibliographic references.

To achieve this goal solve the following tasks: writing a vehicle, development of PCB design, design of the orientation device. The object of work is a microcontroller and a servomotor for the device of orientation of solar panels. The subject of the work is an orientation device.

Key words: orientation device, alternative energy, Arduino, servomotor, solar power plant.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту

на тему: Пристрій орієнтації сонячних панелей

Київ — 2020 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	2
Вступ.....	3
1 Аналіз технічного завдання	5
1.1 Постановка задачі	5
1.2 Встановлення кутових та часових параметрів роботи пристрою	5
1.2.1 Визначення кута місця нахилу СП.....	6
1.2.2 Визначення азимутальних кутів повороту СП	6
1.2.3 Оцінка часових параметрів роботи пристрою.	7
2 огляд аналогів.....	8
3 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.	11
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.	12
4.1 Вибір електричного двигуна.....	12
4.2 Вибір мікроконтролера.....	13
4.3 Вибір таймера.	15
4.4 Вибір акумулятора	17
5 Розробка електричної принципової схеми	19
5.1 Розрахунок понижуючого DC-DC перетворювача на 10 ВТ.....	19
5.1.1 Перед проектна оцінка «Чорного ящика»	20
5.1.2 Розрахунок індуктора	21

					<i>PT61.421415.001 ПЗ</i>		
ЗМ	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб	Галаган				<i>Пристрій орієнтації Сонячних панелей</i>	Піт	Лист
Переві-	ПІБ						1
Н. Кош	ПІБ						
Затвер-	Данонен					<i>PT-г61-1 РТФ</i>	

5.1.3 Вибір ключа та обмежуючого діода.....	22
5.1.4 Розрахунок вхідного та вихідного фільтрів	23
5.1.5 Встановлення робочої частоти ШІМ-контролера	25
5.1.6 Розрахунок резистора зчитування струму (R1).....	25
5.1.7 Розрахунок резисторного дільника напруги (R3 та R4)	26
5.1.8 Компенсаційні компоненти.....	26
5.1.9 Компенсація контуру зворотного зв'язку за напругою	27
5.2 Розрахунок підвищувального DC-DC перетворювача працюючого від акумулятора	29
6 Конструкторська частина	32
6.1 Розробка друкованої плати	32
6.2 Розробка поворотного механізму	34
7 Охорона праці.....	37
7.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних факторів під час розробки, проектування, виготовлення та експлуатації пристрою	37
7.2 Виконання вимог безпеки під час пайки друкованих плат	39
7.3 Електробезпека.....	39
7.4 Пожежна безпека та профілактика.....	40
7.5 Заходи безпеки пов'язані з експлуатацією акумуляторних батарей.	42
Висновки	44

					PT61.421415.001 ПЗ		
ЗМ	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб	Галаган				Пристрій орієнтації Сонячних панелей	Літ	Лист
Переві-	ПІБ						1
Ч. Контр	ПІБ						
Затвер-	АНТОНЕНЬ					PT-г61-1 РТФ	

Перелік джерел посилань	45
Додаток А. Технічне завдання	47
Додаток Б. Перелік елементів	48
Додаток В. Відомість	50

					РТ61.421415.001 ПЗ			
ЗМ	Лист	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб	Галаган				Пристрій орієнтації	Літ	Лист	Листів
Переві-	ПІБ						1	
Н Контро	ПІБ				Сонячних панелей	РТ-г61-1 РТФ		
Затвер-	Антонені							

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- СП - сонячні панелі
ДЖ - джерело живлення
ПО - пристрій орієнтації
ТЗ - технічне завдання

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В сучасному світі багато країн хочуть відмовитись від звичних для нас способів видобутку електроенергії на користь альтернативних джерел. Адже зараз це дешевше, безпечніше та ефективніше. Все-таки люди розуміють, що надра Землі не нескінченні, і колись всі запаси можуть закінчитися, що призведе до катастрофи. Щоб цього не сталося, потрібно йти на компроміси та шукати альтернативу. Однією із видів заміни типових способів добутку електроенергії є сонячна енергія.

Перевага сонячної енергії у тому, що вона не шкодить довкіллю і завдяки цьому ми не забруднюємо нашу планету ще більше. Також варто зауважити, що енергія сонця невичерпна і цієї енергії може вистачити на тисячі років. Однією із переваг розміщення електростанцій є те, що їх можна будувати будь-де і не потрібно прив'язуватися до місця розташування. Звичайно альтернативні джерела ефективні, проте як зробити їх більш продуктивними?

Пристрій орієнтації сонячних панелей – це рухома система, яка дозволяє покращити характеристики панелей, шляхом їх руху за сонцем. Перевага не габаритних і рухомих пристроїв орієнтації у тому, що де б ви не були, ви можете розгорнути станцію і швидше отримати достатню кількість електроенергії для підзарядки Power bank і для подальшого його використання, а ніж без цієї системи.

Також ця система може бути використана військовими на позиціях, адже таким чином солдати можуть добути більшу кількість енергії за той же проміжок часу, що позитивно вплине на автономність пристроїв які вони використовують і не буде потреби в експлуатації електрогенераторів на бензиновому або дизельному паливі, що може призвести до демаскування позиції.

Переваги такого пристрою:

- Можливість більшого накопичення енергії за певний проміжок часу , а ніж без пристрою;
- Рухома частина живиться від акумулятора , який в свою чергу підзаряджється від сонячної панелі;
- Діє автоматично без участі людини;

Недоліки:

- Ускладнення системи рухомими елементами;
- Залежність від погодних умов;
- Залежність від часу доби , адже в ночі сонячні панелі неефективні.

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						4
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Постановка задачі

На радіотехнічному факультеті була розроблена малогабаритна переносна сонячна електростанція для роботи в польових умовах. Особливістю роботи сонячних електростанцій є те, що її ефективність напряму залежить від освітленості сонячних панелей. Найкраще, коли сонячне проміння падає на панель під прямим кутом. Але через те, що Земля обертається навкруги своєї осі та одночасно навколо Сонця, положення Сонця відносно земної поверхні весь час змінюється. Тому необхідно повертати сонячні панелі за Сонцем. Для вирішення цієї задачі в даному дипломному проєкті розробляється пристрій орієнтації панелей малогабаритної сонячної електростанції масою до 4 кг та габаритними розмірами 520*400*30 мм. При розробці конструкції пристрою необхідно передбачити можливість швидкого розгортання електростанції в польових умовах.

1.2 Встановлення кутових та часових параметрів роботи пристрою

Визначення кутових параметрів роботи пристрою необхідно провести як у вертикальній площині – кут місця нахилу СП, так і у горизонтальній площині – азимут. Але спочатку потрібно оцінити наскільки критично впливає відхилення від нормалі на освітленість СП. Відомо, що освітленість об'єкта змінюється від кута падіння променів по косинусоїдальному закону. Тому розрахуємо коефіцієнт ефективності $K_{\text{еф}}$ роботи СП від кута падіння променів. Результати обчислень занесемо в Таблицю 1 і будемо їх враховувати при визначенні кутових параметрів роботи ПО.

					<i>РТ61.421415.001 ПЗ</i>	Лист
						5
Зм	Лис	ЛЮ	ЛОЖИМ	Підпис		

Таблиця 1.

Кут падіння	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Кеф	1	0,99	0,98	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,71

1.2.1 Визначення кута місця нахилу СП

Враховуючи астрономічні особливості обертання Землі, кут падіння сонячних променів в різні пори року відрізняється, тому для більшої ефективності потрібно визначити оптимальний кут місця нахилу СП. Оскільки ПО виготовляється для весняно – літнього періоду, то задача спрощується. 22 березня та 22 вересня у дні весняного та відповідно осіннього рівнодення кут місця по відношенню до сонця на території України у ці моменти становить 40°. 22 червня в день сонцестояння кут місця становить 60°. Якщо прийняти рішення і встановити СП під середнім кутом місця

$$\varphi = \frac{40 + 60}{2} = 50^\circ,$$

то максимальне відхилення не буде перевищувати 10°, а це значить, що ефективність роботи сонячної електростанції за кутом місця увесь сезон буде вище 98%, і при цьому не потрібно переорієнтовувати сонячні панелі.

1.2.2 Визначення азимутальних кутів повороту СП

Весною та восени різниця азимутальних кутів складає 180°, а влітку — 265°. Розрахуємо середнє значення азимутального кута повороту СП за наступною формулою:

$$\theta = \frac{180 + 265}{2} = 222,5^\circ$$

Якщо СП зафіксувати в напрямку, коли Сонце знаходиться опівдні, то максимальний кут відхилення буде становити 111 градусів в моменти сходу та заходу Сонця, а це значить, що більшу частину світлового дня освітленість СП буде недостатньою. Тому в горизонтальній площині необхідно, щоб СП відслідковували положення Сонця протягом світлої частини доби.

1.2.3 Оцінка часових параметрів роботи пристрою.

Для оцінки часових параметрів роботи пристрою необхідно врахувати наступні астрономічні дані:

- 1 Довжина світлового дня у березні і вересні приблизно 12 годин – з 6-тої до 18-тої години.
- 2 Максимальна довжина світлового дня у червні – 16 годин – з 5-тої до 21-шої години.
- 3 Кутова швидкість обертання Землі – 15 град/год.

Тому з точки зору ефективності роботи сонячної електростанції визначимо час роботи пристрою орієнтації сонячних панелей з 7 до 19 години.

2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

Сучасні поворотні системи розробляються для крупногабаритних сонячних промислових електростанцій (рис2.1). Ці системи з самого початку розробляють складнішими, їхня конструкція складається з двох двигунів та певного контролера, що керує ними, це дозволяє пристрою автоматично рухатися за сонцем протягом дня змінюючи азимутальний кут та кут місця, що дозволяє максимально ефективно використовувати сонячну енергію. Проте ці системи мають деякий ряд недоліків та складнощів.



Рис 2.1.

Орієнтація по куту місця дійсно дозволяє ефективніше добувати енергію, проте це додає пристрою складність у вигляді ще одного двигуна. Зазвичай системи з додатковою орієнтацією застосовують на великих сонячних електростанціях площею від 50 м^2 . В промислових масштабах це дійсно дасть приріст енергії приблизно на 20 – 30 %. Також варто зауважити, що такі поворотні механізми потребують щоденного обслуговування, перевірки та корекції, адже якщо механізм буде мати бодай невелике зауваження, це може призвести до його поломки, а в промислових масштабах це катастрофа і велика втрата енергії.

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						Я
Зм	Лис	№ док	Підпис	Дата		

Не можна не відмітити, що також існують пристрої для малогабаритних станцій (рис 2.2), проте майже всі ці пристрої побудовані на фото резисторах, через дешевизну та простоту. Вони також мають вертикальну та горизонтальну орієнтацію.



Рис 2.2

Принцип їх дії наступний. Фото резистори шукають максимальну освітленість та направляють панель в те місце. Основний недолік у тому, що іноді при недостатній освітленості, фото резистори можуть спрацювати некоректно, що призведе до того що панелі можуть рухатись не в тому напрямку, або ж не рухатись зовсім. Існують випадки при помірній хмарності, коли хмари за-тулюють сонце і механізм може пересунутися на декілька градусів назад до найближчої освітленості, а після короткочасного затемнення, вже не рухатись і не працювати коректно.



Рис. 2.3

На Рис .2.3 яскраво показано на прикладі великогабаритної електростанції недолік роботи поворотних механізмів на фото резисторах - в одному місці одні СП направлені в один бік, а другі зовсім в інший.

Також проблема ПО на фото резисторах у тому, що двигуни рухаються постійно, а це означає , що вони безперервно використовують енергію , що зменшує показники накопичення енергії. Крім того такі системи мають досить складні поворотні механізми, і це значно підвищує їх вартість.

Тому, зваживши вищесказане, приходимо до висновку, що необхідно розробити свій пристрій орієнтації СП, який буде позбавлений вказаних недоліків.

3 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.

В попередніх розділах було встановлено, що в горизонтальній площині – по азимуту необхідно орієнтувати СП на Сонце. Це можна здійснювати трьома принципово відмінними способами:

- 1 Налаштовувати пристрій орієнтації на максимальну освітленість сонячних панелей і постійно рухатися за Сонцем.
- 2 Не звертати уваги на освітленість СП, а рухатися за Сонцем безперервно з постійною кутовою швидкістю 15 град/год.
- 3 Повертати СП дискретно через певні проміжки часу, щоб знаходитися біля точки максимальної освітленості з допустимими відхиленнями.

Перший спосіб має суттєвий недолік – у разі, якщо Сонце сховалося за хмари система орієнтації стає безпорадною і взагалі може розвернутися в інший бік на більш освітлений далекий об'єкт. Крім того відбувається постійне споживання електричної енергії, що стосується і другого способу. Оптимальним варіантом для нашої електростанції є використання третього способу орієнтації СП. Встановивши, що в світлу пору доби сонячна електростанція повинна працювати 12 годин – з 7 до 19 години, та враховуючи кутову швидкість Землі 15 град/годину, визначаємо, що за цей час сонячні панелі повернуться на 180 градусів. З Таблиці 1 видно, що при відхиленні СП на 15 градусів ефективність падає всього на 3%. Тому можна прийняти рішення здійснювати поворот СП через кожні 2 години на 30 градусів. Але для того, щоб через 1 годину після зупинки кут відхилення був нульовим, необхідно зробити корекцію положення СП на 15 градусів у бік руху Сонця. В такому режимі споживання енергії буде мінімальною, тому що двигун кожні 2 години буде вмикатися лише на декілька секунд.

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.

В попередньому розділі було прийнято наступний режим роботи ПО:

- 1 О 7 годині вмикається контролер керування системою, через 2 години подається перша команда і СП повертаються на кут 30 градусів.
- 2 Цей процес повторюється кожні 2 години до 17 години.
- 3 О 19 годині система повертається в стартове положення.

4.1 Вибір електричного двигуна.

В цьому розділі ми виберемо серводвигун, який задовольнить наші характеристики. Розглянемо два двигуни TowerPro MG995 та Power HD 1501MG.

Технічні характеристики MG995 :

- Маса: 55 грам;
- Розміри: 40.7 x 19.7 x 42.9 мм;
- Крутячий момент: 8.5 кг x см (при 4.8 В), 10 кг x см (при 6 В);
- Робоча напруга: 4.8 - 7.2 В;
- Робочий струм: до 300 мА;
- Діапазон робочих температур: 0 °C – 55 °C.

Технічні характеристики HD 1501MG :

- Маса: 63 грам;
- Розміри: 40.7 x 20.5 x 43.5 мм;
- Крутячий момент: 15.5 кг x см (при 4.8 В), 17 кг x см (при 6 В);
- Робоча напруга: 4.8 - 7.2 В;
- Робочий струм: 400 мА (при 4.8 В), 500 мА (при 6 В);
- Діапазон робочих температур: 0 °C – 55 °C.

Серводвигун HD 1501MG дуже добротний по своїм характеристикам, проте він занадто потужний для нашого ПО. Серводвигуна MG995 буде достатньо для нашого пристрою, адже маса сонячних панелей разом із конструкцією не перевищує 4 кг. Тому кінцевим блоком ПО повинен бути електричний двигун MG995(рис. 4.1).



Рисунок 4.1

4.2 Вибір мікроконтролера.

Керування вибраним двигуном необхідно здійснювати за допомогою контролера. Вибір лягає на мікроконтролери сімейства Arduino. Найпопулярніші моделі Arduino Nano та Arduino Uno, тож вибирати будемо між ними.

Технічні характеристики **Arduino Nano**:

Робоча напруга: 5В;

Вхідне живлення: 7-12В (рекомендовано);

Кількість цифрових пінів: – 14, із них 6 можуть використовуватися в якості виходів ШИМ;

					PT61.421415.001 ПЗ	Лист
						13
Зм	Лис	ЛЮ	ЛОЖИМ	Підпис	Дата	

8 аналогових входів;

Максимальний струм цифрового виходу: 40 мА;

Флеш- пам'ять: 16 Кб або 32 Кб, в залежності від чіпу;

ОЗУ: 1 Кб або 2 Кб, в залежності від чіпу;

EEPROM: 512 байт або 1 Кб;

Частота: 16 МГц;

Розміри: 19 x 42 мм;

Вага: 7 г.

Технічні характеристики **Arduino Uno**:

Робоча напруга : 5В;

Вхідне живлення: 7-12В (рекомендовано), 6-20В (граничні);

Кількість цифрових пінів: – 14, із них 6 можуть використовуватися в якості виходів ШИМ;

6 аналогових входів;

Максимальний струм цифрового виходу: 40 мА;

Флеш- пам'ять: 32 Кб;

ОЗУ: 2 Кб;

EEPROM: 1 Кб;

Частота: 16 МГц;

Розміри: 68 x 53 мм;

Вага: 25 г.

В принципі ми маємо дві дуже схожі плати, одна більш потужна але більша та дорожча, друга слабша, але менша та дешевша і водночас задовольняє всі наші потреби. Тому будемо використовувати плату Arduino Nano.(рис. 4.2)

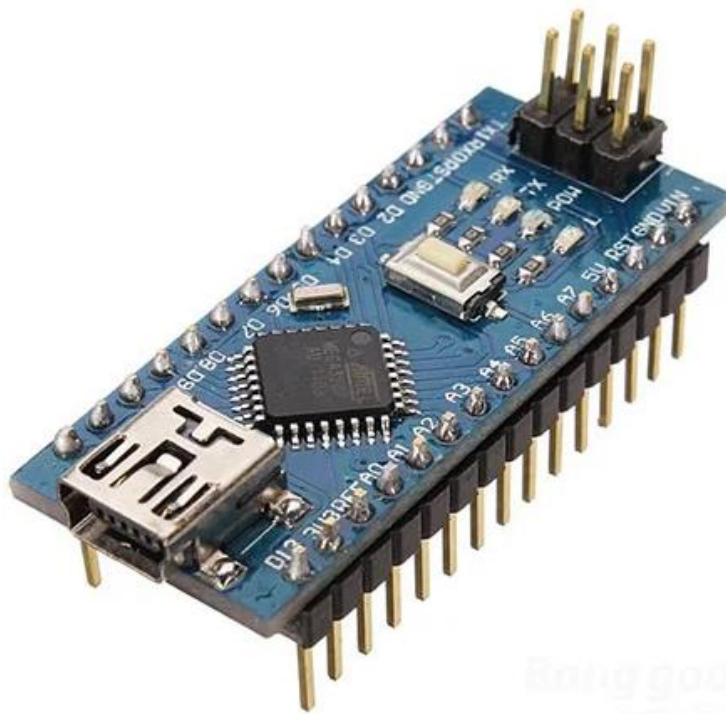


Рисунок 4.2

4.3 Вибір таймера.

Через те, що ПО працює з прив'язкою до часу, необхідно до контролера підключити плату реального часу. Завдяки цьому модулю, контролер розуміє який зараз день місяця, та яка година. Ці плати мають дуже малу похибку у вимірюванні, що складає приблизно ± 2 хв. на рік. Ці плати не мають як таких аналогів, лише свої старі версії, які мали ряд недоліків. Тому ми виберемо найпопулярніший годинник реального часу DS3231 (рис.4.3). Живлення цієї плати здійснюється від мікроконтролера, проте також є резервна батареяка моделі CR2032. Живлення переходить на неї, коли з мікроконтролера припиняється. Під час постійного живлення від батареяки її ресурсу вистачить на декілька років, що задовольняє наші умови.

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

PT61.421415.001 ПЗ

Лист

15

Технічні характеристики DS3231:

Календар до 2100 року;

Погрішність : +/- 4ppm;

Два будильника;

Вихід стабільної частоти : 1-32768 Гц;

Напруга живлення : 2,7 - 5,3 В;

Напруга батареї : 2,3 - 5,3 В;

Струм споживання : 250 мкА;

Струм споживання від батареї : 3 мкА;

Поріг переключення на батарею : 2,6 В;

Інтерфейс : I2C;

Розміри : 40x22 мм .

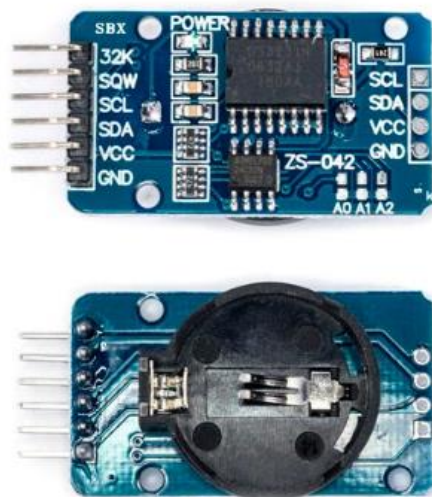


Рисунок 4.3

4.4 Вибір акумулятора

Далі необхідно вирішити питання із живленням. Через те, що рекомендована напруга живлення контролера 7...12 В, а двигуна 4.8...7.2 В, то вибираємо 7 В. Цю напругу можна отримати від СП, але не безпосередньо, а зарядивши спочатку акумулятор, а потім через DC-DC-перетворювач отримати необхідну напругу. Без накопиченої в акумуляторі електричної енергії в темну пору доби або похмурі дні система буде бездіальною. Враховуючи, що максимальне споживання струму контролера під час керування двигуном становить 50 мА, а робочий період доби триває 12 годин, то за добу ПО витратить $0.05\text{A} \cdot 12\text{годин} = 0.6\text{A} \cdot \text{год}$. Реально може статися, що 5...6 днів буде дощова похмура погода. Тому необхідно вибрати акумулятор ємністю $4\text{A} \cdot \text{год}$. Наш вибір пав на акумулятор виробництва компанії GENERAL ELECTRONICS BATTERY CO., LTD., а саме модель GEB805085 (рис. 4.5)



Рисунок 4.5

Характеристики даного акумулятора:

- номінальна ємність: 4.1 А/год;
- номінальна напруга: 3.7 В;
- максимальна напруга заряду: 4.2 В;
- мінімальна напруга розряду: 3.0 В;
- максимальний струм заряду: 4.1 А/год;
- максимальний струм розряду: 8.2 А/год;
- робоча температура заряду: 0 – +45 °С;
- робоча температура розряду: - 20 – +60 °С;
- температура зберігання: 25 ±5 °С;
- максимальне значення внутрішнього опору: 8 мОм;
- вага: 29 грамів;
- розміри: довжина 85 мм., ширина 50 мм., товщина 8 мм.

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						18
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Через те, що вихідна напруга СП становить 9...21 В, а для зарядки акумулятора необхідно 4.2 В, то після СП необхідно встановити знижувальний DC-DC-перетворювач. Не потрібно забувати, що оптимальне живлення для нашого мікроконтролера та серводвигуна становить 7 В, тому після акумулятора необхідно встановити ще один, але підвищувальний DC-DC перетворювач.

5.1 Розрахунок понижуючого DC-DC перетворювача на 10 ВТ.

Щоб обчислити цей перетворювач, потрібно спочатку вибрати мікросхему, на якій він буде створений. Наш перетворювач буде створений прямою однотактною схемою. Функціонал мікросхеми перетворювача повинен задовольняти наступні умови:

- можливість працювати безпосередньо від вхідної напруги;
- між імпульсне обмеження перевантаження за струмом;
- драйвер з двотактним каскадом на польовому транзисторі.

Схема перетворювача буде розроблена на основі ШІМ-контролера UC3573. Причина вибору цієї простої мікросхеми полягає в тому, що вона заснована лише на структурі системи управління імпульсним перетворювачем і не має великої кількості додаткових схем захисту. Мікросхема оптимізована для використання з одним індуктором і використовується як ключовий польовий транзистор з р-каналом. У мікросхемі є генератор опорного напруги постійного струму в конструкції, який подається на підсилювач помилок, щоб можна було працювати в режимі постійного струму на виході перетворювача. Внутрішня опорна напруга, що подається на підсилювач помилок, становить $1,5 \text{ В} \pm 2\%$. Коли напруга, подана на вхід мікросхеми, менша за заданий рівень, UC3573 включає ланцюг блокування вихідної напруги.

Характеристики даної мікросхеми:

- мінімальна вхідна напруга: 4,5 В;
- максимальна вхідна напруга: 30 В;
- діапазон робочої частоти: від 85 кГц до 115 кГц

					PT61.421415.001 ПЗ	Лист
						19
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

– діапазон робочих температур: від -65°C до $+150^{\circ}\text{C}$.

Вхідні дані для розрахунків:

– мінімальна вхідна напруга: $V_{in(min)} = 10\text{ В}$;

– максимальна вхідна напруга: $V_{in(max)} = 21,6$;

– вихідна напруга: $V_{out} = 5\text{ В}$;

– максимальний вихідний струм: $I_{out(max)} = 2\text{ А}$;

– вихідна напруга пульсацій: $V_{pul} = 30\text{ мВ}$;

– стабілізація виходу: $\pm 1\%$;

5.1.1 Перед проектна оцінка «Чорного ящика»

Максимальна вихідна потужність:

$$P_{max} = V_{out} \cdot I_{out(max)} = 5\text{ В} \cdot 2\text{ А} = 10\text{ Вт}.$$

Вхідна потужність (очікуваний ККД перетворювача – $\eta = 0,8$):

$$P_{out} = \frac{P_{max}}{\eta} = \frac{10\text{ Вт}}{0,8} = 12,5\text{ Вт}.$$

Втрати на ключі (очікуваний ККД ключа – $\eta = 0,4$):

$$(P_{out} - P_{max}) \cdot 0,4 = (12,5\text{ Вт} - 10\text{ Вт}) \cdot 0,4 = 1\text{ Вт}.$$

Втрати на обмежуючому діоді (очікуваний ККД діода – $\eta = 0,6$):

$$(P_{out} - P_{max}) \cdot 0,6 = (12,5\text{ Вт} - 10\text{ Вт}) \cdot 0,6 = 1,5\text{ Вт}$$

Середні значення вхідних струмів:

Вхідний сигнал низького рівня:

$$I_{in(low)} = \frac{P_{max}}{V_{in(min)}} = \frac{12,5\text{ Вт}}{10\text{ В}} = 1,25\text{ А}.$$

Вхідний сигнал високого рівня:

$$I_{in(high)} = \frac{P_{max}}{V_{in(max)}} = \frac{12,5\text{ Вт}}{21,6\text{ В}} = 0,58\text{ А}$$

Оцінка максимального струму:

$$I_{pk(est)} = 1,4 \cdot I_{out(max)} = 1,4 \cdot 2\text{ А} = 2,8\text{ А}.$$

Розробка нашого перетворювача буде здійснюватися за наступною схемою показаною на рисунку 5.1

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						20
Зм	Лис	Лист докум	Підпис	Дата		

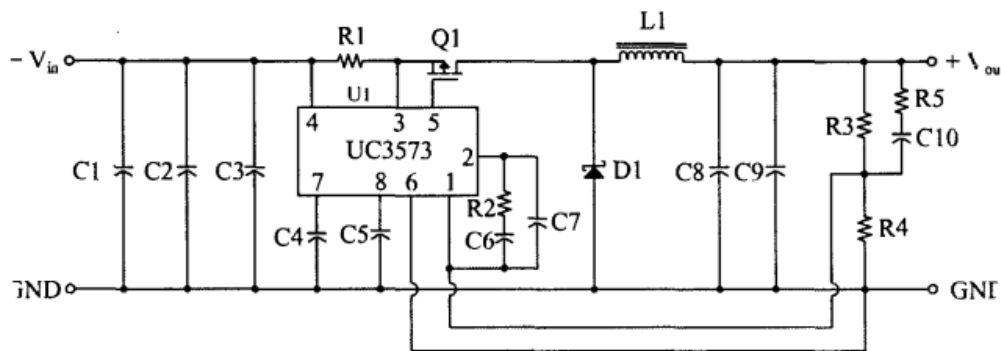


Рисунок 5.1 — Схема DC-DC перетворювача

5.1.2 Розрахунок індуктора

Найгірші умови експлуатації індуктора – при високій вхідній напрузі. Індуктивність потрібного нам індуктора розраховується за формулою:

$$L_{min} = \frac{(V_{in(max)} - V_{out}) \cdot (1 - V_{out}/V_{in(max)})}{1,4 \cdot I_{out(min)} \cdot f_{sw}} \quad (5.1)$$

де $V_{in(max)}$ – максимально можлива вхідна напруга;

V_{out} – вихідна напруга;

$I_{out(min)}$ – мінімальний очікуваний струм навантаження;

f_{sw} – робоча частота.

Виходячи з формули (4.1) індуктивність дорівнює:

$$L_{min} = \frac{(21,6 \text{ В} - 5 \text{ В}) \cdot (1 - 5/21,6)}{1,4 \cdot 0,5 \text{ А} \cdot 100 \text{ кГц}} = 0,9 \text{ мГн.}$$

Багато компаній пропонують стандартні індуктори для поверхневого монтажу. У нашому випадку ми вирішили вибрати індуктор CDRH127 / LD виробництва SUMIDA. Індуктор спеціально розроблений для схем управління потужністю. Він має феритовий сердечник та екранований корпус.

Основні параметри даного індуктора:

- індуктивність: 1 мГн;
- допуск номінальної індуктивності: $\pm 20 \%$;
- струм насичення: 630 мА;

Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ

PT61.421415.001 ПЗ

Лист

21

- середньоквадратичне значення струму: 700 мА;
- максимальний опір: 1,5 Ом;
- температурний діапазон роботи: – 40 °С до 100 °С.

5.1.3 Вибір ключа та обмежувачого діода

Ключ до цього перетворювача повинен бути потужним польовий МДН-транзистор з р-каналом. Оскільки максимальна напруга на вході становить 21,6 В, а максимальний струм складає 2,8 А. Також тепловіддача повинна бути не менше 1 Вт, тому опір стік-витік транзистора (при закритому ключі) повинний бути нижче, чим значення яке розраховується за формулою:

$$R_{DS} = \frac{P_D}{(I_{pk(est)})^2} \quad (5.2)$$

де R_{DS} – опір стік-витік транзистора;

P_D – потужність розсіюваного тепла транзистором;

$I_{pk(est)}$ – значення короткочасного пікового струму.

Виходячи з формули (5.2) максимально можливе значення опору стік-витік транзистора дорівнює:

$$R_{DS} = \frac{1 \text{ Вт}}{(2,8 \text{ А})^2} < 127 \text{ мОм (максимум)}$$

В даному випадку було прийняти рішення вибрати досить поширений польовий МДН-транзистор виробництва компанії Diodes Incorporated ZXMP3A17E6TA, з опором в провідному стані 70 мОм.

Основні параметри даного транзистора:

- гранично допустима напруга стік-витік: 30 В;
- гранично допустима напруга затвор-витік: 10 В;
- гранична напруга включення: 1 В;
- максимально допустимий постійний струм стоку: 4 А (при температурі транзистора 25 °С) та 3,2 А (при температурі транзистора 70 °С);

					PT61.421415.001 ПЗ	Лист
						22
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

- максимально допустимий короткочасний імпульсний струм: 14,4 А;
- максимальна потужність що розсіюється: 2,5 Вт (при температурі транзистора 25 °С) та 1,6 Вт (при температурі транзистора 70 °С);
- температурний діапазон роботи транзистора: від – 55 °С до 150 °С;

В якості обмежуючих діодів повинні використовуватися діоди Шотки для мінімізації втрат на електропровідність і втрат перемикання. Задовільним падінням прямої напруги при максимальному струмі в 4,2 А характерно для діодів 50WQ03FN з падінням 0,46 В (при температурі +25°С).

5.1.4 Розрахунок вхідного та вихідного фільтрів

Ємність вихідного конденсатора вираховується з наступної формули:

$$C_{out(min)} = \frac{I_{out(max)} \cdot (1 - V_{out}/V_{in(max)})}{f_{sw} \cdot V_{pul}} \quad (5.3)$$

де f_{sw} – робоча частота ШІМ-контролера;

Звідси, за формулою (5.3) ємність дорівнює:

$$C_{out(min)} = \frac{2 \cdot (1 - 5/21,6)}{100 \text{ кГц} \cdot 30 \text{ мВ}} = 512 \text{ мкФ}$$

По-перше, необхідно встановити пульсаційний струм для вхідних і вихідних конденсаторів фільтра. У нашому випадку пульсуючий струм такий же, як змінний струм через індуктор. Для I_{peak} максимальний струм, що проходить через індуктор, обмежений 4,2 А, що становить приблизно половину максимального вихідного струму, або 1,5А. Тому подвійна амплітуда пульсуючого струму становить 2,7 А, а в оцінці середньоквадратичного значення (RMS) струм – 0,9 А (приблизно третина подвійної амплітуди).

У нашому випадку слід використовувати танталові конденсатори для верхнього монтажу, оскільки вони зазвичай показують 50% еквівалентного

послідовного опору електролітичних конденсаторів. Крім того, при температурі навколишнього середовища +85 ° С значення вибраного конденсатора слід зменшити на 30%.

Що стосується нас, то найкращі конденсатори - це дуже низький еквівалентний серійний опір, тому вони можуть обробляти пульсуючі струми високої інтенсивності.

Для поверхневого кріплення використовується дуже мало конденсаторів, які мають необхідну ємність, номінальну напругу та низький еквівалентний серійний опір. Більш просте рішення - включити два паралельних конденсатора, кожен з ємністю щонайменше половини від необхідного значення. Це дозволить використовувати більш дешеві конденсатори та зменшити значення еквівалентного опір серії. Тому було вирішено вибрати два конденсатори 597D227X0025M2T ємністю 220 мкФ та максимальною робочою напругою 25 В.

На вхідний конденсатор впливає та ж трапецієподібна хвиля струму, що і на ключ. Початкове значення струму становить приблизно 0,74 А, а потім збільшується до 4,2А. Умови роботи конденсатора набагато складніші, ніж у вихідного. Ми оцінюємо поточне значення середньоквадратичного значення трапецієподібної хвилі струму як кускову суперпозицію двох хвиль: прямокутної з максимальним рівнем 0,74 А і трикутної з максимальним рівнем 4,2 А. Це дає оцінку поточного значення середньоквадратичного значення –1,1 А. Тоді ємність конденсатора можна визначити по формулі:

$$C_{in} = \frac{P_{in}}{f_{sw} \cdot V_{pul(in)}} \quad (5.4)$$

Звідси, за формулою (5.4) ємність дорівнює:

$$C_{in} = \frac{12,5 \text{ Вт}}{100 \text{ кГц} \cdot (1,0)^2} = 125 \text{ мкФ}$$

Конденсатори які розраховані на більшу напругу мають більшу ємність. Отже, для нашого випадку, будемо використовувати два конденсатори включені паралельно ємністю 47 мкФ.

					PT61.421415.001 ПЗ	Лист
						24
Зм	Лис	ЛЮ док	Підпис	Дата		

5.1.5 Встановлення робочої частоти ШІМ-контролера

Виходячи з Data-sheet мікросхеми UC3573 робоча частота встановлюється за допомогою зовнішнього конденсатора C_3 ємність якого розраховується за формулою:

$$C_3 = \frac{1}{15 \text{ кГц} \cdot f_{sw}} \quad (5.5)$$

де f_{sw} – робоча частота ШІМ-контролера

Для нашого перетворювача вибрали частоту $f_{sw} = 100 \text{ кГц}$. Виходячи з формули (5.5) ємність конденсатора дорівнює:

$$C_3 = \frac{1}{15 \text{ кГц} \cdot 100 \text{ кГц}} = 666 \text{ пФ}$$

Найближче значення складає 690 пФ.

5.1.6 Розрахунок резистора зчитування струму (R_1)

У вибраному контролері захист виконується за допомогою між імпульсного струму моніторингу, при якому ключ розмикається відразу при перевищенні порога в 0,47 В. Передбачається, що інтервал між очікуваним максимальним струмом і захисним порогом відкриття становить 25%. Таким чином, захист буде спрацьовувати при струмі $1,25 \cdot 2,8 \text{ А} = 3,5 \text{ А}$. Виходячи з цього, розраховуємо опір резистора R_1 :

$$R_1 = \frac{0,47 \text{ В}}{3,5 \text{ А}} = 0,134 \text{ Ом.}$$

Найближче стандартне значення опору дорівнює 0,15 Ом.

5.1.7 Розрахунок резисторного дільника напруги (R_3 та R_4)

Резисторний дільник напруги регулює вихідну напругу перетворювача. Значення напруги, прочитане з дільника, порівнюється з опорною напругою мікросхеми.

Значення опору резистор R_4 визначається з формулою

$$R_4 = \frac{V_{osc}}{I_r} \quad (5.6)$$

де V_{osc} – опорна напруга (для мікросхеми UC3573 $V_{osc} = 1,5$ В);

I_r – струм зчитування мікросхеми.

Звідси, R_4 дорівнює:

$$R_4 = \frac{1,5 \text{ В}}{1 \text{ мА}} = 1,5 \text{ кОм}$$

Значення опору резистор R_3 визначається з формулою

$$R_3 = \frac{V_{out} - V_{osc}}{I_r} \quad (5.7)$$

Звідси, R_3 дорівнює:

$$R_3 = \frac{5 \text{ В} - 1,5 \text{ В}}{1 \text{ мА}} = 3,5 \text{ кОм}$$

5.1.8 Компенсаційні компоненти

Для того щоб забезпечити стабільність струму та напруги типової схеми, необхідні наступні компенсаційні компоненти:

- конденсатор C_4 ємністю 680 пФ;
- керамічний конденсатор C_4 ємністю 100 нФ.

5.1.9 Компенсація контуру зворотного зв'язку за напругою

Оскільки, це прямоходовий перетворювач, який працює в режимі постійної напруги, то для того щоб отримати оптимальну тривалість перехідних процесів, скористаємося двополюсною компенсацією з двома «нулями».

Визначимо вихідну схему управління. Поліус вихідного фільтра визначається по індуктору фільтра і конденсатора та складає собою спад -40 дБ/декаду. Його номінальна частота злomu АЧХ визначається за формулою:

$$f_{tp} = \frac{1}{21 \cdot \pi \sqrt{L_0 \cdot C_0}} \quad (5.8)$$

де L_0 – індуктивність індуктора;

C_0 – ємність вихідного конденсатора.

Звідси, f_{tp} дорівнює:

$$f_{fr} = \frac{1}{21 \cdot \pi \sqrt{0,9 \text{ мГн} \cdot 660 \text{ мкФ}}} = 20 \text{ Гц}$$

Нульова точка обумовлена конденсатором вихідного фільтра визначається за формулою:

$$f_{zesr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{esr} \cdot C_0} \quad (5.9)$$

де R_{esr} – внутрішній опір конденсатора ($R_{esr} = 60 \text{ мОм}$).

Звідси, f_{zesr} дорівнює:

$$f_{zesr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 60 \text{ мОм} \cdot 660 \text{ мкФ}} = 4020 \text{ Гц}$$

Внутрішній абсолютний коефіцієнт підсилення схеми живлення дорівнює:

$$A_{DC} = \frac{V_{in}}{3 \text{ В}} = \frac{21,6}{3} = 7,2;$$

$$G_{DC} = 20 \log(A_{DC}) = 17,15 \text{ дБ.}$$

Частота переходу підсилення в замкнутому контурі не повинно бути вище, чим 20% робочої частоти ШІМ-контролера (або 20 кГц). Було вирішено,

що частоти переходу підсилення в діапазоні від 10 кГц до 15 кГц достатньо для більшості застосувань. Це дає тривалість перехідних процесів біля 200 нс.

$$f_{x0} = 15 \text{ кГц}$$

Перше, що потрібно прийняти, це те, що кінцевий ланцюг компенсації замкнутого контуру буде мати безперервний нахил -20 дБ/декаду . Щоб досягти частоти переходу в 15 кГц, підсилювач повинний додати підсилення вхідного сигналу і «припідняти» амплітудну характеристику на графіку Боде.

$$G_{x0} = 20 \cdot \log(f_{x0}/f_{fr}) - G_{DC} = 20 \cdot \log(15 \text{ кГц}/20 \text{ Гц}) - 17,15 \text{ дБ} = G_2 = +40,35 \text{ дБ}$$

$$A_{x0} = A_2 = 10^{G_2/20} = 104,11 \text{ (абсолютний еквівалент)}$$

Це підсилення потрібне на плато середнього діапазону G_2 для досягнення бажаної частоти переходу.

Підсилення на першому наборі компенсаційних «нулів», складає:

$$G_1 = G_2 + 20 \cdot \log(f_{ez2}/f_{ep1}) = +40,35 \text{ дБ} + 20 \cdot \log(10 \text{ Гц}/4020 \text{ Гц}) = -11,74 \text{ дБ}$$

$$A_1 = 10^{G_1/20} = 0,26 \text{ (абсолютний еквівалент)}$$

Для компенсації двополюсного фільтра помістимо два «нуля» на половині частоти полюса фільтра:

$$f_{ez1} = f_{ez2} = 10 \text{ Гц}$$

Перший компенсаційний полюс буде розміщено на частоті еквівалентного опору конденсатора:

$$f_{ep1} = 4020 \text{ Гц}$$

Другий компенсаційний полюс використовується лише для підтримки високочастотної стійкості шляхом зменшення підсилення на частоті переходу:

$$f_{ep2} = 1,5 \cdot f_{x0} = 22,5 \text{ кГц}$$

Тепер можна починати розрахунок величин опорів та ємностей компонентів підсилювача похибки:

$$C_7 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{x0} \cdot A_2 \cdot R_3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 15 \text{ кГц} \cdot 104,11 \cdot 3,5 \text{ кОм}} = 29 \text{ пФ}$$

$$R_2 = A_1 \cdot R_3 = 0,26 \cdot 3,5 \text{ кОм} = 900 \text{ Ом}$$

					<i>РТ61.421415.001 ПЗ</i>	Лист
						28
Зм	Лис	Лист	Лист	Дата		

$$C_6 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ez1} \cdot R_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ Гц} \cdot 900 \text{ Ом}} = 17,9 \text{ мкФ}$$

$$R_5 = \frac{R_2}{A_1} = \frac{900}{0,26} = 3,5 \text{ кОм}$$

$$C_{10} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ep2} \cdot R_5} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 22,5 \text{ кГц} \cdot 3,5 \text{ кОм}} = 2 \text{ нФ}$$

5.2 Розрахунок підвищувального DC-DC перетворювача працюючого від акумулятора

Щоб розробити цей перетворювач потрібно спочатку вибрати схему, на якій він буде побудований.

На Рис. 5.2 зображений підвищувальний перетворювач з живленням від однієї літійової батареї. Мікросхема MAX1896 виконана в 6-вивідному корпусі і відрізняється гранично малими габаритами і мінімальною вартістю. Це ШІМ-контролер з управлінням по струму, що включає всі необхідні функції:

- корекцію крутизни;
- корекцію зворотного зв'язку;
- генератор частоти комутації і вимірювач струму.

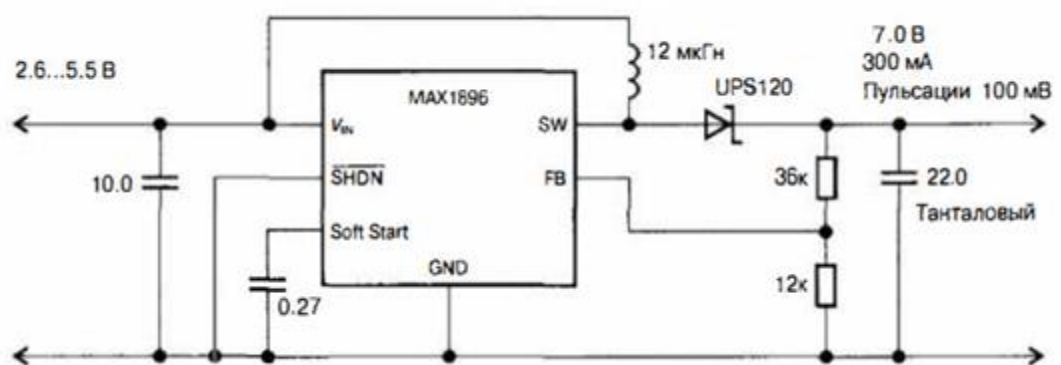


Рисунок 5.2 — Схема DC-DC перетворювача працюючого від акумулятора

Робота на частоті 1.4 МГц сприяє зменшенню габаритів, так як індуктивність може бути дуже маленька, а конденсатори - керамічними або танталовими. У схемі управління реалізований також режим пропуску імпульсів для роботи з низькими вихідним струмом.

Оскільки напруга акумулятора значно змінюється в процесі експлуатації. У міру розряду елементів живлення напруга буде знижуватися все швидше. Ми повинні спроектувати схему з урахуванням найнижчого значення вхідної напруги, щоб забезпечити достатній коефіцієнт заповнення для накопичення дроселем відповідної енергії. І знову нам потрібно вибрати струм пульсацій. Можна вибрати його рівним 100 мА, так як висока робоча частота перетворювача дозволяє використовувати конденсатори щодо маленької ємності при досить низьких пульсаціях напруги. Використовуємо зазначені на Рис. 4.2 значення вхідного і вихідного напруг та рівняння:

$$L = \frac{V_{in} \cdot (V_{out} - V_{in})}{\Delta I \cdot f \cdot V_{out}} \quad (5.10)$$

З рівняння (5.10) розрахуємо індуктивність перетворювача

$$L = \frac{2.6 \cdot (7 - 2.6)}{0.1 \cdot 1.4 \text{ МГц} \cdot 7} = 12 \text{ мкГн.}$$

Контролер MAX1896 містить внутрішню схему м'якого запуску, яку потрібно доповнити тільки зовнішнім часо-задаючим конденсатором. Схема обмежує струм комутації до тих пір, поки напруга на виводі м'якого запуску (Soft Start) не досягне 1.5 В. При розрахунку ємності конденсатора ми будемо використовувати цю напругу перемикання і значення струму через конденсатор, рівне 4 мкА. Для схеми, зображеної на Рис. 4.2, потрібно забезпечити час м'якого запуску 100 мс, тому, використовуючи визначення ємності, заряду і струму, отримаємо:

$$Q = I \cdot T = 4 \text{ мкА} \cdot 100 \text{ нс} = 400 \text{ нКл};$$

Звідси:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{400 \text{ нКл}}{1.5 \text{ В}} = 266 \text{ нФ.}$$

Таким чином для ємності конденсатора м'якого запуску можемо використати стандартне значення 270 нФ.

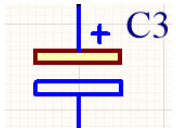
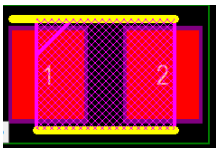
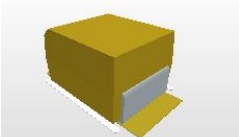
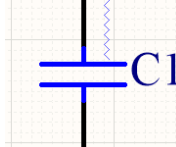
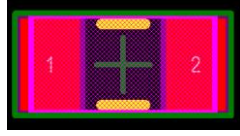
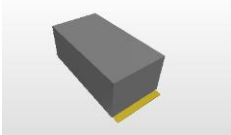
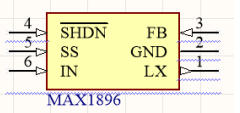
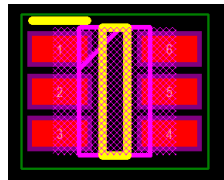
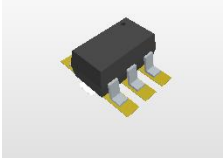
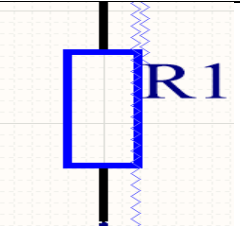
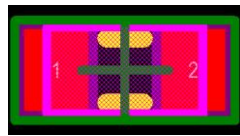


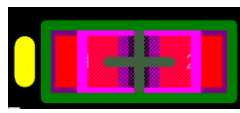
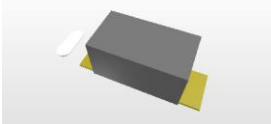
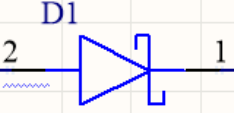
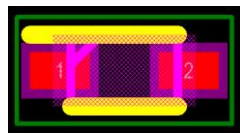
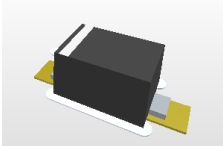
					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ док.	Підпис	Дата		

6 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1 Розробка друкованої плати

Для розробки друкованої плати був обраний підвищувальний DC-DC перетворювач, розрахунок якого наведений вище. Враховуючи те, що розміри до плати ми вибираємо довільно, було вирішено задати розміри плати ширину – 17 мм, а довжину – 63 мм.

Бібліотека компонентів

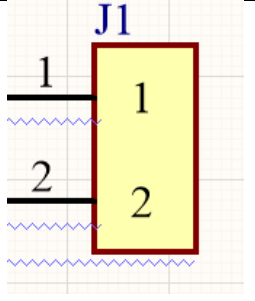
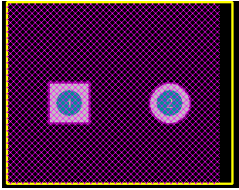
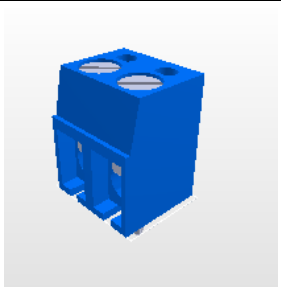
Компонент	Познач.	Схематичне позначення	Посадкове місце	Модель
Конденсатор танталовий	C			
Конденсатор керамічний	C			
ШІМ контролер	IC			
Резистор	R			
Індуктивність	L			
Діод Шоткі	D			

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата

PT61.421415.001 ПЗ

Лист

32

Силові клеми	X			
-----------------	---	--	--	--

Трасування плати виконувалось за допомогою програмного забезпечення Altium Designer (18.1.9)

Трасування плати:

- 2D вигляд

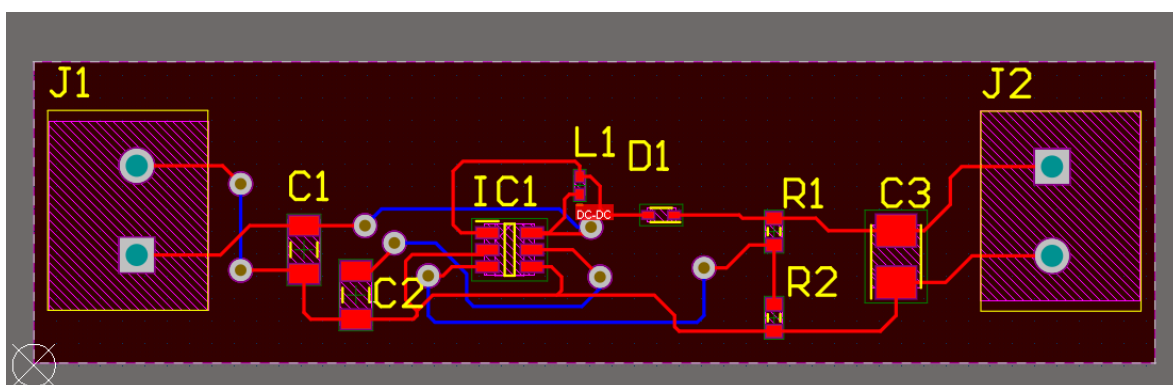


Рис. 6.1

- 3D вигляд

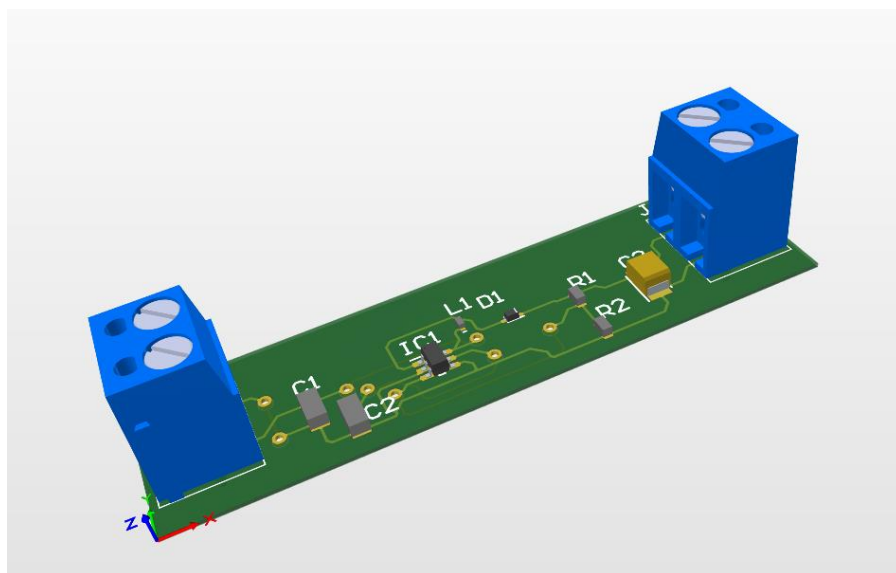


Рис. 6.2

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.421415.001 ПЗ

Лист

33

6.2 Розробка поворотного механізму

Проектування приладу проводилось в системі автоматизованого проектування SolidWorks. В даній програмі виконується моделювання корпусу триноги, складання виробу в цілому та підготовка необхідних конструкторських документів та графічного матеріалу. На рис 6.3 зображена нижня частина триноги



Рис. 6.3

На даному рисунку зображена основа триноги поворотного механізму. На кінцях лап знаходяться отвори , для додаткової фіксації конструкції, що створює стабільність системи. На відстані 20 см від основи на головному

					PT61.421415.001 ПЗ	Лист
						34
Зм	Лис	№ док	Підпис	Дата		

штирю знаходиться місце для кріплення серводвигуна , з відповідними кріпленнями для нього. На рис. 6.4 , зображена верхня деталь ПО , що кріпиться на центральний штир. Данна деталь «пуста» в основі, за рахунок чого вона без проблем надягається на нижню деталь, завдяки цьому пристрій має ще більшу стійкість та стабільність.

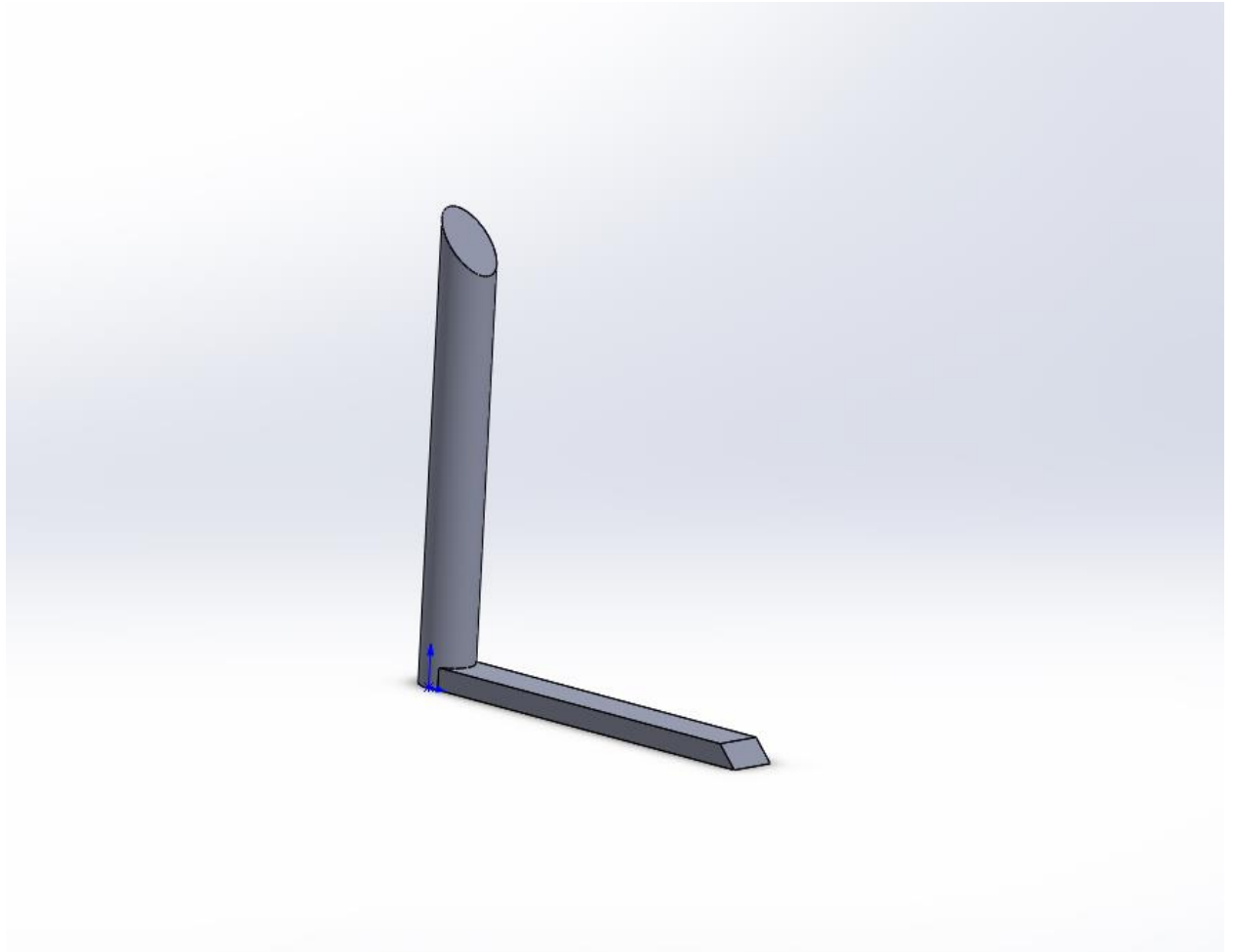


Рис. 6.4

Деталі в зборі, формують собою ПО (рис. 6.5):



Рис. 6.5

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному розділі дипломного проекту визначені основні потенційно шкідливі і небезпечні чинники які мають місце при розробці, виготовленні та експлуатації пристрою орієнтації для малогабаритної сонячної електростанції. Потрібно визначити потенційно небезпечні фактори, що можуть впливати на життєзабезпечення та ефективність роботи працівників. Потрібно проаналізувати та оцінити якісно і кількісно всі можливі шкідливі фактори та знизити їх значення до допустимих. Однак потрібно ще провести дослідження питань, які пов'язані з основними заходами пожежної та гігієнічної безпеки і електробезпеки.

Оскільки одним із основних процесів в даному дипломному проекті є розроблення друкованої плати, то необхідно розглянути питання з охорони праці при виконанні пайки, та при виготовлення друкованої плати. Данні процеси створюють ряд небезпечних та шкідливих факторів, які необхідно розглянути далі.

Потрібно не забувати про те, що однією із складових пристрою орієнтації є акумуляторна батарея. Отже необхідно розглянути заходи безпеки, що пов'язані з експлуатацією акумуляторних батарей.

7.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних факторів під час розробки, проектування, виготовлення та експлуатації пристрою

До основних шкідливих та небезпечних факторів, що належать до тих, які можуть впливати на працездатність робітників належать:

- Недостатня освітленість робочої зони (необхідне виконання вимог освітленості виробничих приміщень згідно із ДБН В2.5–28–2018);
- Незадовільний мікроклімат робочого приміщення (висока вологість, зависока чи занижена температура повітря). Необхідно забезпечити відповідність нормам, викладених у ДСН 3.3.6.042–99;

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						37
Зм	Лис	ЛЮ	ЛОЖИМ	Підпис		

– Наявність у повітрі робочої зони різних шкідливих речовин у концентраціях, що перевищують гранично допустимі. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих та небезпечних речовин у повітрі повинні відповідати нормам;

– Високий рівень шуму на робочому місці (рівні звуку, допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку повинні

задовольняти санітарним нормам згідно з ДСН 3.3.6.037–99);

– Перевищення рівня електромагнітного випромінювання елементами розроблюваного пристрою. Необхідно забезпечити виконання норм, зазначених у ДСНіП № 486;

– Небезпека ураження електричним струмом через несправність електроінструменту та необережності (розроблюваний пристрій живиться від мережі змінного струму напругою 220 В. Можливий контакт працівника із високовольтною частиною пристрою). Розроблюваний пристрій та електроустаткування робочої зони повинне відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 61.140.2015;

– Підвищена напруженість електричного поля промислової частоти на робочому місці (напруженість електричних полів промислової частоти на робочому місці повинна відповідати нормам, зазначені у ДСН 239-96);

– Небезпека опіку при необережному користуванні нагрівальним електроінструментом (паяльником) та іншими інструментами чи предметами, що нагріваються. Тут необхідно бути максимально уважним та обережним, брати нагрівальний електроінструмент за спеціальні частини (ручку, теплоізований корпус і т.д.). Температуру елементів охолодження пристрою (радіатори) найкраще перевіряти термометром, для уникнення опіків у випадку несправності пристрою та значного перегріву елементів;

– Вплив низки психофізіологічних факторів (фізичні перевантаження (як статичні, так і динамічні) та нервово-психічні перевантаження (монотонність роботи, емоційні перевантаження)). Необхідно робити планові перерви при роботі за комп'ютером, чергувати різні види діяльності (стоячу працю із сидячою, статичні навантаження з динамічним, фізичну роботу з розумовою).

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						38
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

7.2 Виконання вимог безпеки під час пайки друкованих плат

Зараз майже усі електромонтажні з'єднання РЕА здійснюються пайкою. Технологічний процес пайки включає випалювання ізоляції і лудіння.

При виконанні пайки на робітників можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

- Запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- Наявність інфрачервоного випромінювання від розплавленого припою у ванні або від паяльника;
- Наявність електромагнітного випромінювання високої частоти;
- Дія електростатичного заряду;
- Недостатня освітленість робочих місць або підвищена яскравість.

Операції пайки, лудіння і випалення ізоляції супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами свинцю, олова, сурми і інших елементів, що входять до складу припою, каніфолі і різних рідин вживаних для флюсу. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються на аерозоль такої конденсації, частки якої по своїй дисперсності наближаються до димів.

7.3 Електробезпека

Відповідно до класифікації ДСТУ ІЕС 61.140.2015 усе електрообладнання, що розташоване у приміщенні, можна визначити як І клас за електрозахистом (обладнання, що під'єднується до мережі живлення вилкою із трьома контактними елементами, один із яких з'єднано із заземленим контактом розетки) та 0І клас електричного захисту (обладнання з робочою ізоляцією, елементи заземлення та електродроти без заземлюючого провідника).

					<i>PT61.421415.001 ПЗ</i>	Лист
						39
Зм	Лис	№ доки	Підпис	Дата		

Приміщення, у якому проводяться роботи, можна класифікувати як приміщення без підвищеної небезпеки ураження персоналу електричним струмом, оскільки:

- підлога не є струмопровідною (лінолеум є діелектриком);
- відносна вологість повітря не перевищує 75%;
- температура повітря всередині приміщення не перевищує 35°C;
- виключаються випадки одночасного доторкання людини до елементів конструкцій, що з'єднані із землею та металевими елементами електроустановки;

Згідно із ДСТУ ІЕС 61.140.2015 спроектований пристрій належить до І класу електрозахисту (обладнання, що має робочу ізоляцію та елемент заземлення, під'єднується до мережі живлення вилкою із трьома контактними елементами, один із яких з'єднано із заземляючою жилою). Живлення як розроблюваного пристрою, так й електроустановок здійснюється за допомогою мережі змінного струму напругою 220В із частотою 50Гц. Використовуються автомати струмового захисту. Система заземлення TNCS. Для зменшення значення напруги дотику та відповідних величин струмів за нормального та аварійного режиму роботи електроустановки необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Підключення електроустановок виконане із дотриманням вимог ПУЕ

7.4 Пожежна безпека та профілактика

Причини виникнення пожежі в робочому приміщенні, де використовується комп'ютер, можуть носити електричний і неелектричний характер. У процесі монтажу розроблюваного пристрою (а саме при паянні) використовуються пожежонебезпечні речовини та матеріали. Недотримання правил пожежної безпеки може призвести до пожежі із пошкодженням чи знищенням майна, заподіянням шкоди здоров'ю працівників чи спричинити їх смерть. Згідно з класифікацією ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 дане робоче приміщення за вибухо

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						40
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

та пожежною небезпекою відповідає категорії В, тобто приміщення із горючими та важко горючими рідинами, твердими горючими речовинами та матеріалами.

Відповідно до класифікації пожежних зон в НПАОП 40.1-1.32-01 робоча зона приміщення належить до класу П-Па – пожежонебезпечні зони приміщення. За вогнестійкістю приміщення належить до II ступеня (згідно із класифікацією), тобто механічні конструкції, стіни виконані із негорючих матеріалів, найменша межа вогнестійкості яких складає 2 години. Найбільш ймовірна причина виникнення пожежонебезпечної ситуації може відбутися при виготовленні флюсів (із використанням етилового спирту, етилацетату чи іншого розчинника на спиртовій основі), під час видалення залишків флюсів із друкованої плати після завершення процесу монтажу (пайки) із використанням таких легкозаймистих рідин як суміш спирту із бензином, ацетон і т.д.

До причин електричного характеру ставляться: короткі замикання, перевантаження, іскріння від порушення ізоляції, електрична дуга, що виникає між контактами комутаційних апаратів, незадовільні контакти в місцях з'єднання проводів (скрутки) і їхнє сильне нагрівання внаслідок великого перехідного опору при протіканні електричного струму. Приміщення відповідно до ДБН В.2.5-56-2014 обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДПС-038 Відповідно ДСТУ 3675-98 і ISO 3941-77 як первинний засіб гасіння пожежі використовується чотири вуглекислі вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 або ВВ-8 (клас пожежі "Е"). Вибір речовини вогнегасника обґрунтовується тим, що у вогні можуть виявитися електричні пристрої, що перебувають під напругою. Також потрібно встановити пінний хімічний вогнегасник ВХП-10 який використовується для гасіння початкових вогнищ легкозаймистих твердих матеріалів, а також різних горючих рідин. Кількість, розміщення і зміст первинних засобів гасіння пожежі повністю задовольняє всім вимогам ДСТУ 3675-98 і ISO 3941-77. Крім цього, у коридорі є 2 пожежних крани і ящик з піском. Витримано всі умови по НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Витримано всі умови ДБН В.1.1-7-2016 по вогнестійкості будинків, часу евакуації у

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						41
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

випадку пожежі, ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень. Двері приміщень відкриваються назовні, ширині дверей 1.3 м при нормі не менш 0.8 м, висота проходу 2.2 м при нормі не менш 2м, ширина коридору 3м при нормі не менш 2м.

Наступні заходи призначені для забезпечення пожежної безпеки:

- Постійні перевірки та контроль вогнегасників та інших засобів пожежогасіння;
- Заборона куріння в приміщеннях;
- Контроль стану ізолюючих елементів електроживлення;

7.5 Заходи безпеки пов'язані з експлуатацією акумуляторних батарей.

Оскільки для даного проекту потрібне використання літій-полімерних акумуляторних батарей, необхідно переглянути правила їх використання та небезпеки які можуть виникнути.

Потрібно експлуатувати акумулятори належним чином і дотримуватися всіх параметрів, в такому випадку акумулятори безпечні. Дуже важливо дотримуватися меж теплових навантажень , адже акумулятор може перегрітися, що в свою чергу створить негерметичність корпусу через що речовини акумулятора та продукти його розпаду будуть витікати.

Зарядні пристрої, що не сертифіковані компанією виробником акумуляторів для їх підзарядки, можуть спричинити пожежі та вибухи. Через використання таких зарядних пристроїв можуть бути жертви , тому необхідно заряджати акумулятори лише за допомогою зарядного пристрою, який сертифікований компанією виробником акумуляторів.

Наступні заходи та поради призначені для забезпечення безпечної експлуатації акумуляторних батарей:

- Не поєднувати та не замикати електричні контакти акумулятора із металевими предметами;

					<i>PT61.421415.001 ПЗ</i>	Лист
Зм	Лис	ЛЮ док	Підпис	Дата		42

- Не встромлювати будь-які предмети в отвори акумуляторів;
 - Не намагатися порушити герметичність акумуляторів;
 - Не дозволяється модифікувати акумулятори та зарядні пристрої ні в якому разі або виконувати інші маніпуляції з ними.
 - Акумулятори ніколи не дозволяється зберігати або транспортувати без захисту та упаковки для того щоб уникнути короткого замикання, а також супутнього нагрівання.
 - Захищати від потрапляння вологи та не занурювати їх у воду;
 - Захищати від спеки та відкритого вогню;
 - Дотримуватися допустимого діапазону температур акумулятора;
 - Якщо помітно дим, перегрів, неприємний запах, шум чи деформацію— від'єднати від пристрою акумулятор та негайно відійти на безпечну відстань;
 - Якщо акумулятори не використовуються певний час то їх необхідно зберігати в сухому та чистому місці;
- Отже, при відповідній експлуатації та дотриманні загально діючих санітарних норм акумулятори не несуть ніякої шкоди здоров'ю людей.

ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз доступних на ринку аналогів, можна зробити висновок, що даний пристрій є унікальним, адже в ньому поєднані конструкторські рішення які раніше не перетинались в одному пристрої. Такі як орієнтація лише в певний період часу, відмова від типових для цих пристроїв фоторезисторів, на користь орієнтації по датчику реального часу.
2. В якості плати керування був використаний мікроконтролер Arduino Nano, через його задовільні характеристики і малі габарити.
3. Використовуючи програмне забезпечення Solid Works була розроблена 3д модель пристрою, завдяки чому деякі технічні рішення змінювались протягом написання дипломного проекту, адже можна було бачити зміни пристрою в режимі «Live».

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						44
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Раймонд Мэк. — "Импульсные источники питания" Москва издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — 271с.
2. Марти Браун. — "Источники питания" «МК-Пресс», 2007. — 267с.
3. Data sheet до мікросхеми UC3573 — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.ti.com/lit/ds/slus346a/slus346a.pdf?ts=1591886758966&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
4. Характеристики серводвигуна PowerPro MG995 — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://erg.com.ua/p670462061-servoprivod-mg995.html?gclid=CjwKCAiAvLyBRBWEiwAzOkGVN0U2x9WS5HaZKfNBuXBnfUYHHeNBNfju3xa2QZh5Eu64aM3LxZYRxoCHtAQAvD_BwE
5. Огляд аналогів малогабаритних пристроїв орієнтації — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://sxem.org/forum/avtomatika-i-upravlenie/448-dvukhosevoj-treker-dlya-solnechnoj-paneli-12kg>
6. Розрахунок підвищувального DC-DC перетворювача — [Електронний ресурс]. — <https://vip-cxema.org/index.php/online-raschjoty/366-raschjot-povyshayushchego-dc-dc-preobrazovatelya>
7. Характеристики годинника реального часу DS3231— [Електронний ресурс]. — <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/chasy-realnogo-vremeni-ds3231/>
8. Характеристики літій-полімерного акумулятора— [Електронний ресурс].—https://www.alibaba.com/product-detail/Wholesale-and-Drop-Shipping-lithiumlipo_62182682489.html?spm=a2700.pc_countrysearch.main07.10.69df3c2434M5Lw
9. Сайт по знаходженню потрібних елементів для DC-DC перетворювача — [Електронний ресурс].—<https://eu.mouser.com/>
10. 3D моделі для програмного забезпечення Altium Designer— [Електронний ресурс].— <https://www.snapeda.com/>
11. Data sheet мікроконтролера Arduino Nano — [Електронний ресурс].— <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>

					PT61.421415.001 ПЗ	Лист
						45
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

12. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до розробки розділу „Охорона праці” в дипломних проектах /роботах/ для студентів РТФ освітнього рівня – бакалавр
Укладач: С.Ф.Каштанов - Київ НТУУ”КПІ”, 2013 р. 34 с.

13. Вибір конденсаторів — [Електронний ресурс].—
<https://www.smd.ru/katalog/kondensatory/keramicheskie/>

					РТ61.421415.001 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник дипломного проекту

_____ О.М. Антоненко

14 квітня 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту Галацану Олександровичу.

Тема проекту: «Пристрій орієнтації сонячних панелей»

Розробити пристрій орієнтації сонячних панелей малогабаритної сонячної електростанції для експлуатації в польових умовах з наступними технічними та експлуатаційними характеристиками:

1 Кліматичні умови експлуатації – весняно-літня пора року (з травня по серпень включно) в межах території України.

2 Вихідна напруга сонячних панелей - 12...21 В.

3 Габаритні розміри сонячних панелей - 520*400*30 мм.

4 Маса сонячних панелей - 4 кг.

Студент

О.А. Галацан

PT61.421415.001 ПЗ

Лист

1

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
B_1	Серводвигун PowerPro MG995	1	
BT_1	Акумулятор GEB805085 4,1 А/год.	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
IC_1	UC3573	1	
IC_2	MAX1896	1	
IC_3	ATmega328	1	
IC_4	DS3231	1	
	<u>Резистори</u>		
R_2, R_4	MT-2,0-1,5кОм \pm 5%	2	
R_1	MT-2,0-0,1Ом \pm 5%	1	
R_3	MT-2,0-3,6кОм \pm 5%	1	
R_5	MT-2,0-3,9кОм \pm 5%	1	
R_6	MT-2,0-36кОм \pm 5%	1	
R_7	MT-2,0-12кОм \pm 5%	1	
	<u>Котушки індуктивності</u>		
L_1	CDRH127 1 мГн \pm 20%	1	
L_2	1537R- 12 мкГ \pm 10%	1	
	<u>Транзистори</u>		
Q_1	Транзистор польовий р-типу ZXMP3A17E6	1	

					PT61.421415.001 ПЕ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Галацан						
Перевір.							
Н. контр.							
Затверд.	Антоненць						
					Лім.	Аркуш	Аркушів
						1	
					НТУУ "КПІ" РТФ		
					Група РТ-з61-1		

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Діоди</u>		
D ₁	Діод Шоткі 50WQ03FN	1	
D ₂	Діод Шоткі UPS 120	1	
	<u>Конденсатори</u>		
C ₁ ,C ₂	LMK316BC6476ML-T 47 мкФ ±5% 25В	2	
C ₃ ,C ₄	06033F681J4T2A 690 пФ±5% 25В	2	
C ₅	grm188r 100 нФ±5% 25В	1	
C ₆	TMF325B7225KMHP 2,2 мкФ±5% 25В	1	
C ₇	SMD 0603 560 пФ±5% 25В	1	
C ₈ ,C ₉	597D227X0025M2T 220мкФ ±5% 25В	2	
C ₁₀	SMD 1206 1,8 мкФ±5% 25В	1	
C ₁₁	SMD 0603 10 пФ±5% 10В	1	
C ₁₂	SMD 0603 0,27 пФ±5% 10В	1	
C ₁₃	Танталовий 0805 270 нФ±10% 10В	1	
	<u>Роз'єми</u>		
X ₁	Клемник KF301-2P 5.0	1	

[illegible]